

# **Basalt 섬유로 보강된 철근콘크리트 보의 흔 성능 고찰**

## **The Considerations on Flexural Performance of RC Beam Strengthened with Basalt Fibers**

심 종 성\*

문 도 영\*\*

박 성 재\*\*\*

박 경 동\*\*\*

Jong-Sung Sim

Do-Young Moon

Sun-Gjae Park

Kyung-Dong Park

### **ABSTRACT**

Fibers have been used to improve the flexural performance of reinforced concrete. Therefore many different kinds of fibers have been developed and tested to reinforcing concrete. Basalt fiber is one of the recently developed materials for this purpose. Basalt fiber produced from this basalt raw material has high initial strength and durability. But, the main advantages of the basalt fiber are resistance to high operating temperatures and lower modulus and chemical resistance compared to fiberglass. Also basalt fiber may be consumed as a potential replacement for expensive carbon fibers.

### **1. 서론**

여러 가지 요인으로 성능 저하된 콘크리트 구조물의 내구성 및 사용성의 증진을 위하여 필연적으로 구조물에는 보강이라는 수단이 동반된다. 일반적으로 손상된 콘크리트 구조물에 보강재를 이용하여 보강하는 방법으로는 강판부착 또는 연속섬유보강판의 부착, 그리고 외부 포스트텐셔닝(Post-tensioning) 등이 있으며 실제로 이 방법들은 구조물의 내하력을 증가시키는데 성공적으로 적용되어 왔다.

이 중 최근 콘크리트 구조물의 보강에 주로 사용되는 재료는 FRP 신소재 즉 탄소섬유, 유리섬유 등으로 기존의 강판 보강재보다 기계적인 성능이 우수하고 추가 사하중의 부담이 적으며 시공의 간편함 등의 장점이 널리 인식되면서 외부부착 공법으로 주로 사용되어졌다. 하지만 이러한 공법들의 사용에 있어 그 보강성능 만을 중요시하는 경우가 많았으며 외부 환경에 의한 보강효과의 저하 등은

\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

무시해 왔던 것이 사실이다.

국내의 경우 이러한 연구가 전무하며 국외의 경우 역시 미비하나마 보강된 구조체의 내구성 및 내화성능에 대한 연구가 진행되고 있으며, 문헌연구 결과 기존의 유리섬유, 탄소섬유 보강재의 보강성능이 습기, 열 등의 외부 환경에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.[Mohamed Saafi, Houssam A. Toutanji 외]

최근 앞서의 여러 보강재료들의 장단점을 서로 보완하고자 시험적 검증을 바탕으로 많은 연구가 이루어졌고[심종성 외], 본 연구 역시 이러한 맥락을 바탕으로 국내에 최초로 도입되는 시트형 보강재료인 현무암으로부터 생산된 Basalt 섬유를 철근콘크리트 보에 부착하여 미리 선정된 변수에 따라 시험을 수행한 후, Basalt 섬유의 휨보강성능을 고찰하는데 그 목적을 두고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트는 기성 레미콘 제품으로 일축압축시험 결과 얻어진 압축강도는  $400\text{kgf/cm}^2$ 였으며 사용된 주철근 및 배력철근의 항복강도는  $4,000\text{kgf/cm}^2$ , 탄성계수는  $2.04 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 였다. 보강재의 경우는 현무암으로부터 생산된 러시아산 Basalt 섬유로 일방향 섬유를 2방향으로 직조한 천 형태의 보강재이며, 보강재의 외부 부착을 위해 사용된 접착제는 CAF EL 800을 사용하였다. 아래 표 1은 Basalt 보강재와 FRP 계열 보강재, 접착제의 물리적 특성을 나타내었다.

표 1 보강재 및 접착제의 물리적 특성

	압축 강도( $\text{kgf/cm}^2$ )	극한강도( $\text{kgf/cm}^2$ )	탄성계수( $\text{kgf/cm}^2$ )
Basalt	-	3,500	$2.0 \times 10^5$
CFRP	-	31,600	$2.0 \times 10^6$
GFRP	-	4,500	$2.3 \times 10^5$
에폭시	1,070	630	$1.6 \times 10^4$

### 2.2 시험체 제작 및 제작

그림 1은 철근 콘크리트 보 시험체의 단면치수 및 배근상세이며 그림 2는 시험체의 gage 부착위치를 나타낸다. 보의 폭 및 높이는 각각 15cm 및 25cm, 지간길이는 200cm, 시험체 총 길이는 240cm로 총 12개를 제작하였다. 철근량은 평형철근비의 약 33%정도를 배근하였고 시험체의 전단파괴를 방지하기 위하여 D10 스타텁을 10cm간격으로 배근하였다.

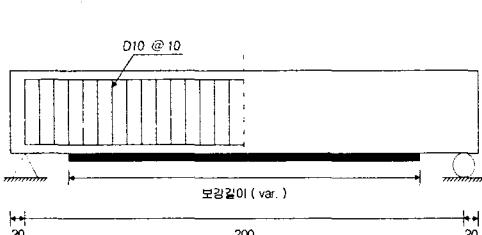


그림 1 보강시험체의 형상 및 제원

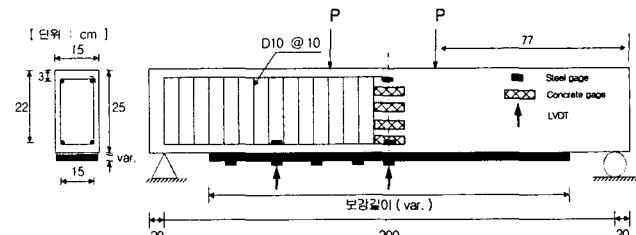


그림 2 시험체의 gage 부착위치

### 2.3 실험변수 및 시험체 명

본 연구에서 사용된 실험변수는 보강길이, 보강겹수, 단부보강방법이며 다음의 표 2에 나타내었다. 단부 보강방법은 일반적으로 FRP 보강 휨시험체가 단부 부착면에서의 용력집중으로 초기에 박리파괴되는 것을 방지하고자 보강재의 부착 단부에 U형으로 보강하였다.

표 2 실험변수 및 시험체명

변수 종류	보강 길이(L.)	보강겹수	단부보강	시험체명
무보강 기본 시험체	-	-	-	B-CON-1
		-	-	B-CON-2
Basalt 보강시험체	0.8L	1	-	B8-1N-1
		1	-	B8-1N-2
		2	-	B8-2N-1
		2	-	B8-2N-2
		3	-	B8-3N-1
		3	-	B8-3N-2
		1	U-type	B8-1U-1
		1	U-type	B8-1U-2
	1.0L	1	-	B10-1N-1
		1	-	B10-1N-2

### 2.4 하중재하 및 측정방법

본 실험에서는 시험체의 휨성능평가를 위해 200tf 규모의 하중가력을 사용하여 4점 재하를 실시하였으며 휨파괴를 유도하기 위해  $a/d$ 를 3.5로 하였다. 재하 하중을 측정하기 위하여 하중가력기 하면에 로드셀을 설치하였다. 보 시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙 및 1/4 위치에 LVDT를 설치하여 변위를 측정하였으며 하중증가에 따른 보강재의 거동을 고찰하기 위하여 Basalt 보강재의 길이 방향으로 중앙에서부터 10cm, 30cm, 50cm, 70cm 위치에 strain gage를 설치하였다. 또한 보 깊이에 따른 변형률을 측정하기 위하여 보의 측면에 하단에서부터 5cm, 10cm, 15cm, 20cm 위치에 strain gage를 부착하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 파괴 양상

무보강 시험체의 경우는 전형적인 휨인장 파괴의 형태를 보였으며 Basalt 섬유로 보강된 시험체의 경우는 크게 두 가지 형태로 CFS 및 GFRP 등의 다른 Sheet형 보강재로 보강된 시험체의 파괴양상과 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

첫 번째는 무보강 보의 항복하중을 초과하면서 Basalt 섬유가 하중을 적절히 분담하다가 보강재가 분담할 수 있는 극한 내하력을 초과하여 보강재가 파단되는 전형적인 휨파괴의 형태이며 두 번째는 보강재가 항복하기 전에 접착제의 불완전한 부착개소 및 완전히 제거되지 못한 공기층 또는 과도한 개구균열로 인해 발생된 접착계면의 파괴가 진전되면서 박리되는 박리파괴형태이다.

보강 변수별로 비교하면, 보강재의 길이가 전기간 보강(L)인 시험체와 80% 보강(0.8L)의 경우 모두가 전형적인 휨파괴의 양상을 보였고, 보강겹수별로는 1겹이나 2겹으로 보강된 시험체의 경우는 전형적인 휨파괴 양상을, 3겹으로 보강된 경우는 박리파괴 양상을 보였다. 또한 단부박리 방지의 목적으로

U타입 보강을 실시한 시험체(B8~1U)의 경우에 있어서도 휨파괴 양상이 나타났으며 이들 각 시험체들의 파괴 양상을 표 3에 나타내었다.

표 3 시험체의 파괴 양상

시험체명	초기균열 하중	주철근 항복여부	보강재 항복 여부	파괴양상
B-CON-1	1.2	○	○	휨파괴
B-CON-2	1.6	○	○	휨파괴
B8-1N-1	1.2	○	○	휨파괴
B8-1N-2	1.1	○	○	휨파괴
B8-2N-1	1.2	○	○	휨파괴
B8-2N-2	1.4	○	○	휨파괴
B8-3N-1	1.5	○	X	단부박리
B8-3N-2	1.6	○	X	단부박리
B8-1U-1	1.3	○	○	휨파괴
B8-1U-2	1.4	○	○	휨파괴
B10-1N-1	1.2	○	○	휨파괴
B10-1N-2	1.5	○	○	휨파괴

### 3.2 변수별 보강효과의 분석

우선 변수별 보강효과의 분석을 위하여 각 시험체의 항복강도와 극한 강도를 무보강 시험체의 항복하중과 극한하중으로 나눈 후 하중비를 계산하여 비교하였으며, 변수별 비교 분석의 극대화를 위하여 같은 제원으로 제작되어 실험된 바 있는 GFRP와 CFRP를 부착한 시험체와도 비교하였다.

#### 3.2.1 보강길이에 따른 실험결과

다음의 그림 3에 무보강 시험체와 보강 길이가 각각 0.8L과 1.0L인 B8-1N 시험체와 B10-1N 시험체의 하중-변위곡선을 비교하여 나타내었다. 강성의 경우 보 항복시까지 모든 시험체에서 거의 유사하게 나타나므로 보강재의 길이 증가는 강성의 변화에 무관하다고 할 수 있으며, 항복하중의 경우에는 무보강 시험체보다는 다소 크게 나타나긴 했으나 보강재 길이에 따라서 항복하중의 차이는 크지 않은 것을 알 수 있었다.

표 4는 보강효과를 비교하였는데 극한하중의 경우, 두 가지 보강재의 길이(0.8L, 1.0L) 모두 무보강 시험체의 극한하중과 거의 유사하게 나타났다. 결국 보강재의 길이가 0.8L인 경우와 1.0L인 경우에 있어 내하성능에는 거의 차이가 없다고 할 수 있다.

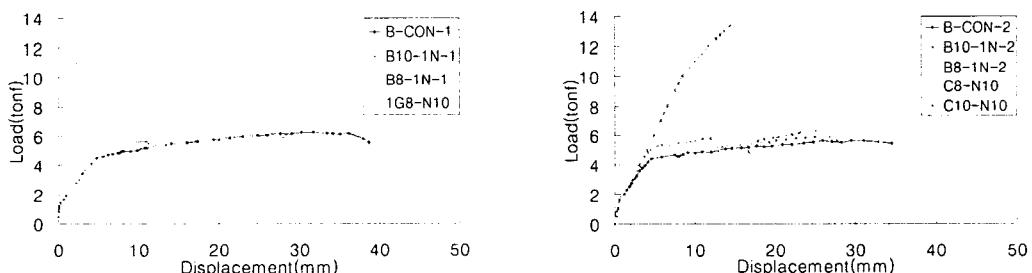


그림 3 보강 길이별 하중-변위곡선

표 4 보강길이에 대한 보강효과

시험체명	항복하중 (tonf)	평균치 (tonf)	극한하중 (tonf)	평균치 (tonf)	증가량(%)	
					항복하중	극한하중
B-CON-1	4.58	4.5	5.65	5.94	100	100
B-CON-2	4.41					
B10-1N-1	5.22	5.25		5.98	117	101
B10-1N-2	5.28		5.78			
B8-1N-1	5.25	5.21				
B8-1N-2	5.17		5.99	5.94	115	100
C8-N10	10.01	10.01	10.02	10.02	222	169
C10-N10	10.03	10.03	13.30	13.30	223	224
1G8-N10	6.01	6.01	7.9	7.9	134	133

### 3.2.2 보강재의 겹수별 실험결과

그림 4와 표 5는 각각 보강겹수에 따른 하중-변위 곡선과 그 보강효과를 나타내었다. 보의 항복까지의 강성은 보강길이에 따른 하중-변위곡선에서와 같이 모두 무보강 시험체와 유사하였으며, 항복하중에 있어서는 1겹, 2겹 보강재의 경우 항복강도가 거의 유사하나 3겹인 경우는 다소 증가함을 알 수 있다. 극한하중은 1겹으로 보강된 시험체의 경우 무보강 시험체의 극한하중과 동일하나, 2겹으로 보강된 시험체의 경우 16%, 3겹으로 보강된 경우는 29% 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 보강겹수를 증가할수록 보강효과가 크게 나타나는 것으로 나타났으나, 3겹으로 보강된 경우 보강재가 충분한 내하성능을 발휘하기 이전에 조기파괴됨으로써 내하성능의 증가 정도가 비교적 작게 나타났으므로 이에 대한 적절한 조치를 강구한다면 더욱 나은 보강효과를 획득할 수 있을 것으로 사료된다.

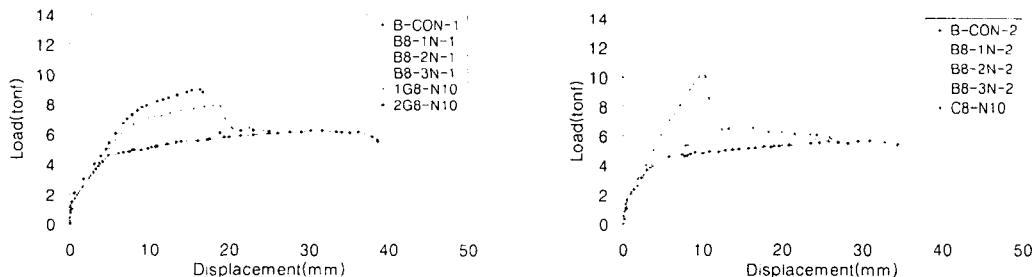


그림 4 보강 겹수별 하중-변위곡선

표 5 보강 겹수에 따른 보강효과

시험체명	항복하중 (tonf)	평균치 (tonf)	극한하중 (tonf)	평균치 (tonf)	증가량(%)	
					항복하중	극한하중
B-CON-1	4.58	4.5	5.65	5.94	100	100
B-CON-2	4.41					
B8-1N-1	5.25	5.21		5.94	115	100
B8-1N-2	5.17		5.99			
B8-2N-1	5.38	5.66		6.90	126	116
B8-2N-2	5.93		7.10			
B8-3N-1	5.62	5.73		7.66	127	129
B8-3N-2	5.83		7.73			
C8-N10	10.01	10.01	10.02	10.02	222	169
1G8-N10	6.01	6.01	7.9	7.9	134	133
G8-N10	7.01	7.01	8.98	8.98	156	151

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내에 최초로 도입되는 Basalt 섬유보강재의 휨보강성능을 검증하고자 Basalt 섬유보강재를 철근콘크리트 보에 부착하여 휨시험을 수행하였으며, 그 보강효과를 분석한 결과로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 실험으로 통해 각 변수별로 6~30%의 항복하중 및 극한하중이 증가함을 확인함으로써 Basalt 섬유보강재의 휨보강성능을 검증할 수 있었다. 그러나 GFRP 및 CFRP 등의 다른 보강재로 보강된 시험체의 실험결과와 비교해 본 결과 Basalt 보강재로 보강된 구조체의 강성 및 내하성능의 개선정도가 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 따라서 내하성능의 향상만을 목적으로 하는 경우에는 Basalt 보강재의 사용이 적합하지 않은 것으로 사료된다.
- 2) Basalt 보강재가 1겹으로 보강된 시험체의 경우는 내하성능의 향상정도가 특히 적은 것으로 나타났으며 이는 Basalt 보강재료의 기계적 성능이 다른 FRP 보강재들과 비교하였을 때 다소 떨어지는 것이 그 이유인 것으로 사료된다. 따라서 Basalt 보강재의 경우 적정한 보강을 위하여는 2겹 이상의 보강이 유효한 것으로 판단되며, 이 경우 내하 성능의 향상은 15%이상으로 나타났다.
- 3) 보강길이가 각각 0.8L과 1.0L인 경우의 실험결과가 유사하게 나타나, Basalt 보강시 유효한 보강길이는 전지간의 0.8배 정도인 것으로 보인다.

전체적으로 Basalt 섬유보강재의 휨보강성능은 기존 FRP 계열과 그 기본적인 특성이 유사하지만 내하성능 면에 있어서는 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 Basalt 섬유가 가진 뛰어난 내화성, 낮은 탄성계수, 저가의 생산비용과 콘크리트에 기본적으로 사용되는 골재와 같은 종류의 재료라는 점에서 이질성이 낮다는 점은 철근콘크리트구조물이 다양한 외부환경에 노출되어 있음을 감안할 때 충분히 그 중요성을 인정할 수 있다. 또한 다른 FRP계열과는 달리 이러한 이질성이 작은 재료를 사용할 경우 반복하중이나 온도변화에 의한 피로강도가 증진되는 효과를 기대할 수도 있을 것이며 앞으로 추가적인 연구가 요망되는 실정이다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설기술연구원에서 주관하는 “Basalt 섬유를 활용한 콘크리트구조물의 보강기술개발”을 수행함으로서 얻어진 결과이며 저자들은 건설기술연구원의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참고문헌

1. 심종성, 김규선, 이석무, 김경민 “GFRP로 보강된 RC보의 휨특성에 관한 실험적 연구” 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1998, 봄, pp550-565.
2. 한만엽, 김경원 “현무암 섬유 보강 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구” 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1997, 봄, pp341-348.
3. Quantrill, R. J. et. al., "Experimental and Analytical Investigation of FRP Strengthened Beam Response : Part I", Magazine of Concrete Research, 48, No.177, Dec.,1996, pp 331-342.
4. Houssam A. Toutanji & William Gomez, "Durability Characteristics of Concrete Beams Externally Bonded with FRP Composite Sheets" , cement and concrete composite, 1997, pp 351-358.
5. Mohamed Saafi, "Effect of fire on FRP reinforced concrete members" , composite structures, May, 2002.